

核能
簡訊
88
雙月刊
中華民國九十三年五月號
國內外核能新聞
建立深地層處置安全性的可信度
美國廢棄物處置僵局已化解
阿伐、貝他、加馬
MALT VINEGAR

核能簡訊



核能簡訊雙月刊
第 88 期
五月二十日出刊

出版單位／中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　　址／新竹市光復路二段一〇一號
研發大樓一樓
電　　話／(03) 5711808
傳　　真／(03) 5725461
網　　址／http://www.ess.nthu.edu.tw/~nicenter
E-mail／nicenter @ ess.cc.nthu.edu.tw
發 行 人／朱鐵吉
編輯委員／鄭安弘、林　英、林明雄、劉宏基
江祥輝、許志楧、潘　欽、謝瀛春
丁　幹、闞中原、李三剛、劉仁賢
翁寶山
主　　編／喻冀平
文　　編／鍾玉娟、翁明琪
美　　編／孫秀琴
編 印 者／信誠廣告事業有限公司
地　　址／台北市基隆路二段23號7樓之6

行政院新聞局出版事業登記號
局版臺誌字第 851 號
中華郵政中台字第 0797 號
執照登記為雜誌交寄

編者的話

本期的專題報導是取材自經濟合作開發組織所屬的核能署所發表的「深地層處置安全性可信度的建立與溝通」報告。發展深地層處置場牽涉到許多階段的籌畫，需要耗費數十年時間來完成。這份報告可協助建立技術評估人員及利害關係人的信心，並且對於未來的發展方向及如何增進可信度提出建議與創見。

對於放射性廢棄物的處置，美國也一直持續地進行。目前在明尼蘇達州與德州，都有突破性的進展。此外，對於私人燃料貯存場的財務管理，也具體地訂定了多項法規，以做為業者依循的標準。亦足以提供我國推行相關工作時的參考。

國內新聞

◆ 行政院推動非核家園政策，但原子能委員會網站最近陸續出現多篇擁核文章，引發外界質疑民進黨執政團隊的非核家園政策有鬆動現象。面對鹽寮反核自救會長吳文通昨日抨擊政府「講一套、做一套」，原能會主委歐陽敏盛澄清說，相關文章貼上網前，他事先沒有看過，完全授權部屬依專業行事。

歐陽敏盛強調，原能會堅持在擁核與反核間，選擇中立原則，並秉持任何言論都可以接受公開驗證的原則。網路上公布的文章，「只看他講的內容有沒有偏頗，如果過度鼓吹核能，我們會注意。」

（93.04.06.中國時報）

◆ 跨派系的4位民進黨青壯派立委昨天拜會前民進黨主席林義雄，針對國會改革及年底立委選舉公投議題交換意見。據轉述，林義雄表示，國會改造、處理國民黨產及建立非核家園將是年底立委選舉的重大公投議題，並於即日起透過社運及黨務系統發動連署。這其中，原訂的「核四公投」調整爲「非核公投」，特別引人矚目。

（93.04.13.中國時報）

◆ 住在北海岸核一、核二廠附近的居民，上午到總統府前陳情，要阿扁總統救救他們，給他們「碘片」。因爲阿扁總統在競選總統期間，曾經在「能源政策與核能問題承諾書」中，支持「核能電廠32公里半徑疏散圈內家戶全面發放碘片」。

針對核一、核二廠附近居民上午到總統府要碘片一事，原子能委員會主委歐陽敏盛指出，目前國內對於碘片的作法與國外相同，就是放在特定場所如衛生所或緊急避難中心，一旦發生核安事故，原能會有把握在極短的時間內發放碘片。歐陽敏盛指出，平常就將碘片發放到民眾手中是不負責任的作法。

（93.04.19.中時晚報）

◆ 清華大學、美國橡樹嶺國家實驗室和田納西大學，廿三日簽訂三方面核子工程研究合作協定，清大校長徐遐生等人以科學數據指出，這些合作，對廿一世紀我國能源發展將有重大影響。

清大明天93週年校慶，原科院工程與系統科學系40週年系慶，昨日簽訂合作協定之外，也宣布設在原科中心的全球第7座「核反應器硼中子捕獲治療設施」將於下個月完成，當作一項生日禮物。

（93.04.24.中國時報）

◆ 放射性廢棄物倉儲作業進入無人搬運的全自動時代！原子能委員會核能研究所昨日宣布，研發完成全自動雷射導引無人搬運車現代化放射性廢棄物倉儲系統。透過行車電腦與雷射導引，運送放射性廢棄物桶完全不須人工操作，避免工作人員接受到不必要的輻射劑量，兼具節省人力與輻射安全防護雙重優點。這是國內外核能界首度將雷射導引搬運車運用在放射性廢棄物倉儲作業上。

（93.05.11.中國時報）

國外新聞

美國

◎能源法案再度叩關

一份新的能源法案日前再度送到了美國參議院備審。這份新的法案預計將花費約



140億美元，這個數字，比去年沒有通過的舊案少了約莫一半之譜，而且新案裡並不包括過去備受爭議的汽油添加物豁免權。有關核能的主要條文並沒有變動，雖然其中有關進步型反應器每度電1.8美分的排碳配額頗受懷疑。這項新法案將會直接交付參議院院會表決，而不再透過相關委員會審查。這項法案預計也將會更新針對風力發電所進行的每度電1.8分的補貼。該辦法已經在去年12月期滿。

◎ 氫經濟需要核能

一份由美國研究評議會以及國家工程學院所提出，名為《氫經濟》的報告，肯定氫能不論在能源安定性與環保上，都具有「無與倫比且戲劇性的好處」，不過要完全過渡到以氫為主要能源，可能還要再等數十年。

就短期而言，透過風力渦輪機，以電析法來製造氫，是無污染的最佳方式，其生產成本為每公斤6.6美元（無併聯發電支援時為10.7美元）；長期而言，仰賴天然氣作為氫的原料，則具有相當的不確定性——而這正是現階段最主要的來源。因此，能源部也應該開發用國產煤碳（並且將過程中產生的碳加以捕捉、隔離）以及核子熱處理來製造氫的相關事宜。

在加拿大舉行的一場核能研討會中，一名美國能源部資深官員表示，美國已經訂下每年生產3000萬噸氫的目標，用以取代美國目前石油消費量的1/4，並且需要為數約225,000百萬瓦的核能熱能。

◎ 美國提出能源預算

美國能源部日前提出該部在2005會計年度裡的能源預算需求，總數為243億美元，其中包括撥給核能科學與技術計畫的4.1億美元——這比2004年的預算提高了500萬美元。在有關核能研究的部分，具優先性的是第四代反應器計畫——共有3100萬元投入這個攸關下一世代進步型能源系統的研發工作。此型反應器有著低核子擴散性，同時還有降低生命周期成本的優點。其他的核能研究經費則遭到了刪減。這項預算需求同時也支持重新啓用愛達荷國家工程與環境實驗室（INEEL）的計畫，並打算將該實驗室建設為美國核能研發的中心。在2005會計年度裡，愛達荷國立實驗室將會和阿崗國家實驗室一西區合併，成立愛達荷國家實驗室，並讓該單位在整個第四代反應器研發工作裡扮演領導者的角色，此外，該實驗室也將開發核能在太空中的應用，並測試海軍用的核子反應器。至於核子廢棄物處置方面的經費，大部分都將撥給雅卡山的執照申請所需——數目是9075萬美元，比去年的經費多了3030萬元。

歐洲

◎ 英國有關發電成本的報告

英國皇家工程學院日前針對英國各新發電廠的發電成本，做了一份截至目前為止比較基礎最可靠的研究報告。尤其重要的是，這份報告的目的乃在於發展出一套「堅實有力的方法，以便直接比較間歇性發電模式與可靠的發電模式之間的成本差異。」這意謂著風力發電所需的備用容量，還有燃煤與天然氣發電所需的碳稅（每噸二氧化碳要30英鎊，或每噸碳110英鎊）。據此，風力發電的成本比核能發電貴兩倍以上。



◎再生能成本量化

若依目前的趨勢不變，到2010年爲止，對再生能發電進行補貼所需花費的金額，將達到每年超過115億歐元之譜。這將對消費者用電的電價產生重大衝擊。在2001年，直接用於補助再生能發電的金額是33億歐元。根據歐洲電力量化報告所顯示，預計到了2010年，再生能的直接補貼範圍，會從芬蘭的每度電0.4分到德國的6.6分不等。

在另一份單獨的報告中，歐洲電力與工業能源消費者聯盟指出：「引進再生能將無可避免地造成電價的提高，這不僅在於其實際發電成本就已經較高，也在於間歇性能源來源——如風力——就意謂著必需擁有備載電力容量，而這將加重末端用戶的電價。」雖然這兩個機構原則上都完全支持使用再生能，但是「爲了減少二氧化碳的排放而提倡使用再生能，對消費者來說，終究會造成電價的高不可攀。」

◎歐盟委員會主張核能的必需性

歐盟的經濟與社會委員會（ESC）日前明確表示，歐洲有必要維持使用核電，而且若想達成未來氣候變遷相關議題與能源安定的目標，就更少不了核能。尤其是，在面對充分供應電力這一大挑戰上，「再生能並沒有辦法自立自強」，「任何部分或全部放棄核能發電的舉措，都將使得歐盟難以達成她對氣候變遷議題所作的承諾。」「核能能夠確保穩定的生產價格的事實」是其經濟上的重要優點。這個委員會代表了「組織化的公民社團」，並且常向歐盟執委會與歐洲議會針對關鍵議題正式提出建議，雖然其中有不少團體是由歐盟資助，以非政府組織的型式在獨立運作——如環保方面的綠色8號（Green-8）共同體。

ESC的報告認爲，「假設再生能可以做到同樣的無碳發電工作，是完全不合理的」。同樣的，「對歐洲的電力用戶來說，放棄核能的代價將昂貴無比」，此外，未來新核能電廠的賣方價格將會滑落。核能發電提供了穩定供應方面的「重要優勢」，因爲「它能夠在一個電力市場內部價格開始緩步攀升時，仍然具有穩定且具競爭力的價格」。ESC的這份報告也指出，關於核能安全與輻射防護的問題，目前都已經透過技術與管制手段而加以解決了，而有關最終的核子廢棄物問題，根據幾個歐洲國家的計畫來看，也正在解決當中。據此，「我們應該致力於提供資訊，將核能工業相關議題的眞相傳達出去，如供應的安定性、無碳排放、價格競爭力與安全，以及用過核子燃料的管理等等，如此，組織化的公民社團才能夠去理性地考慮核能。」

◎德國貯存計畫陷入混亂

德國政府日前打算放棄對高爾本（Gorleben）鹽坑的研究，並另起爐灶，重新尋找新的場址，以建立一個全國性的單一地層處置場，用以收納全德國的放射性廢棄物。高爾本目前已經有一個運作中的中期貯存設施，主要是以地表貯存法來收藏高放射性廢棄物，而且一般認爲該地在地質上頗適合成爲一個較長期處置場。德國的稽查部門估計：這樣的政策改變，最多會造成高達100億歐元的損失，加上時程延誤而且多做許多白工。該部門認爲也該進行康拉德（Konard）場址的相關事宜（該地點傾向作爲中放射性廢棄物的貯存場）。負責經營高爾本的德國電力公司同時也在阿豪（Ahaus）



擁有一座設施（貯存高與中放射性廢棄物），不過高放射性廢棄物的最終處置是屬於德國聯邦政府的職責。

亞洲

◎中國大陸計畫在2020年前擴增4倍核能容量

為了解決今年預估中電力需求成長高達12%，而容量增長速度卻只有9%的問題，中國目前正在尋求快速擴增發電容量的方法。中國大陸國家核工業集團（CNNC）日前宣布，該集團計畫在2020年前，將中國大陸的核電容量由目前約8500百萬瓦電（其中6600百萬瓦電正在運轉中，另有1900百萬瓦電接近完工）擴增4倍，到達36000百萬瓦電的規模。

◎日本有關電力成本的研究

日本的電力公司聯盟日前將2002年啓用的新電廠（假設營運年限至少40年，以80%容量係數運轉）的營運相關成本加以量化。核電的成本是每度5.6日圓，煤為5.9日圓，液態天然氣為6.3日圓，燃油為10.95日圓，水力則為13.6日圓。所有的數字都經過3%的折扣。在2000-2002年的實際運轉成本，核能是每度8.3日圓，而熱能發電則為10日圓。

◎日本MOX的進展

日本福井縣日前同意關西電力公司旗下的高濱（Takahama）3號與4號反應器使用混合氧化物燃料（MOX）。關西電力公司計畫和法國的科吉瑪（Cogema）公司簽署新的合約，以製造這批燃料，並在2007年進行裝填作業。那些在2001年以前為關西電力公司所製造的混合氧化物燃料則將混入這批新的成品中，它們將需要通過日本管制當局所制定的品質保證標準。

◎南韓徵求廢棄物場址

南韓的商業、工業與能源部日前宣布：該部門開始接受各地方的初步申請，以便從中擇定一處，興建一座核子廢棄物設施——其中包括一座低到中放射性廢棄物貯存場，以及將存放20000噸用過核子燃料的中期貯存場。預計這個貯存場將從2016年開始營運。提出申請的地方政府，必須在5月底前出示當地居民超過1/3同意此案的文件，主要是為了方便日後的財務補償作業。去年，蝟島（Wido）曾經一度成為候選地點，不過因為當地的反對而作罷。

澳洲

◎貯存場的跨國審查

來自國際原子能總署（IAEA）轄下的「放射性廢棄物處置安全總處」的5名專家所組成的一個工作小組，日前審查了澳洲的國立放射性廢棄物貯存場的執照申請。他們的結論是：該貯存場的場址選定程序完整，而最後選定的場址也可望符合經由國際背書的安全性目標與準則。然而，該貯存場還需要更進一步的工作，「以證明申請執照過程所想達到的安全性」。該小組完整的報告預計很快就會出爐。

（以上新聞譯自澳洲UIC。因本刊篇幅有限，部分國外新聞將在網站中刊登，網址：http://ess.nthu.edu.tw/~nicenter）



建立深地層處置安全性的可信度

劉淵豪譯

建造一座深地層貯存場牽涉到許多階段的籌劃，同時需要耗費數十年的時間來完成。經濟合作發展組織（OECD）所屬的核能署（NEA），已經發表了一份名為「深地層處置安全性可信度的建立與溝通」的報告。

核能署所轄的功能評估諮詢組織（PAAG），於1994年設立了深地層處置綜合功能評估工作小組（IPAG）。該工作小組的主要作業項目乃爲提供一安全性及功能評估的討論平台，並且調查檢驗在各種狀況下安全性表現的案例，同時支援綜合功能評估（IPA）的研究。

第三號綜合功能評估報告書（IPAG-3）乃用以評估建立安全性信心的方式。第三號報告書的主要目標在於評估獲取、展現及驗證技術，在長期的安全性信心上的表現，並且對於未來的發展方向及如何增進可信度做出建議與創見。

發展深地層處置場牽涉到許多階段的籌劃，同時需要耗費數十年時間來完成的特性。這個費時長久的過程反映出下面的事實：鉅細靡遺地闡述處置場建造上的相關概念，是一件複雜的任務與創新的經驗，正如同處置場建造案在社會中的敏感角色。

於發展進度的每個階段結束時，需要針對是否要繼續進行下一個階段做出決定，並且根據下一發展階段的需求做出調整。各個階段中，宣傳當下用以評估安全性可信度水準的依據準則，以及明確指出用以解決重要議題的策略是相當重要的工作。

爲了協助建立技術評估人員及利害關係人的信心，有各式各樣的議題需要加以說明解釋。其中第三號報告書特別列舉了以下關於可信度建立的關鍵議題：

建議的處置系統的可信度

- 多重障壁本身的強度。
- 各種情境下的緊急應變方案。
- 與相類似例子及天然存在案例間的比較。

處置系統相關數據及知識的可信度

- 研究計畫及場址探勘工作的品質。
- 品質保證的程序。
- 以各種來源及方法蒐集建立的數據。
- 制式化的數據追蹤系統。

評估工作的可信度

- 合於邏輯、清楚及系統化的評估步驟。
- 引入稽核架構的評估方式。
- 透過互動的方式來建立瞭解。
- 獨立的同僚審查。

綜合功能評估模式的可信度



- 解釋爲何其結果憑直覺便可瞭解。
- 考慮不同理論下的模型及模型建構方法——簡單及複雜的兩種。
- 以實驗及自然觀測爲基礎的模型測試。
- 模型結果的比較作業。
- 自然界的類比。
- 如史前水文地質資料等的獨立證據。

安全性案例分析及綜合功能評估的可信度

- 關於假設的清楚說明及理由闡述。
- 用以解釋假設爲代表性，並且夠保守的證明。
- 敏感度的研究。
- 用以管理及處理不確定性的清晰策略。
- 多重安全指標。
- 多重論證。

透過回饋設計及廠址特性所建立的可信度

- 支援任何處置概念設計上的改變。
- 處置系統的全面品管及安全要求。

綜合功能評估小組報告中所言及的多重障壁式系統，在其建議的處置方式中都是相類似的。然而，多重障壁系統的定義卻在各國間因地而異。第三號報告書中，建議執行單位明確定義出其所採用的多重障壁究竟所指爲何，這包括了所有維持長期安全性所需的功能需求。

評估的最終階段，最大的挑戰來自於處置場安全性隨著長時間變化而上升所增加的不確定性。綜合功能評估中，需要盡可能地詳細說明此一不確定性，同時證明處置場仍可按預期地提供人民健康及自然環境的長期保護。

對於所蒐集的安全性案例數據，其可信度乃建立於確保場址探勘及研究工作的落實執行，同時保證數據能夠被充分地瞭解及闡述。

而品管系統應該在安全性案例分析及綜合功能評估中，追蹤控制自數據的來源開始，以至於其到達使用者手中，所有的流程。評估步驟同樣在安全性案例分析中扮演了關鍵角色，而其亦需要被保持清楚、透明化，以俾可信度的建立。

第三號報告書建議安全性案例分析中應該包括了清晰的可信度建立說明，而且應該在整份文件中被賦予明顯的地位。此一文件可以立基在對於管理及處理不確定性的方法、以及舉證最重要的保守假設及其影響，同時強調任何的安全餘裕，例如分析報告中所未刊列的正面特點或是程序。可信度說明還應該解釋其評估結果，與適切的法規規定間的比較結論；以及將處置場建造後所因而增加的輻射傷害風險，與日常生活中所接受到的自然輻射，或是由其他來源所貢獻的背景劑量間的風險水平作一比較。

建立技術上的可信度

信任乃爲決策中得以繼續發展進行、不可或缺的基本要件。信任由兩個主要因素所構成：技術勝任，以及一項由下列社會元素所組成的感性因素：公開、可靠、可信、公平，以及關注。

技術勝任在信任上所扮演的角色，意味著構成決策技術面基礎的安全性案例，及以其支持綜合功能評估，可信度均占有不可或缺的地位。安全性案例將透過內部與外部同領域的專家作廣泛地檢閱，同時依據各界人士的要求作一檢驗。安全性案例的需求如下所述：

- 備妥背景說明所需的報告。



- 包括安全性所引以爲準的主要特點及程序在內的安全性概念。
- 適合於所有安全性評估策略，其中所採用的原則、假設、方法、用以評估長期安全性的數據及資訊、發展可信度的方法等。
- 綜合功能評估的結果。
- 爲了進一步驗證及支援安全性原則所需的研究準則、發展與實際驗證計畫。
- 在長期安全性上用以解決不確定性此一重要問題的策略。

不可避免地，將有人會質疑安全性案例所提出資訊或是可信度並不足以做出眼下的決定。爲了協助處置場發展階段中所進行的安全性案例，與所需的決策間作一整合，第三號報告書建議對以下4項議題做出明確地闡述說明。

- 發展更先進處置場的固有限制：是否有理由繼續發展？
- 整合程度：系統是否能夠妥善地使用所有蒐集到的資訊，並且發展出一幅確實一致的藍圖？而未能解決的不一致性將會對安全性造成什麼樣的潛在影響？
- 安全性案例，可資利用的資訊與數據的完整性與品質：不確定性及其潛在的可能衝擊將會對安全性產生什麼影響？
- 科技專家間是否有任何異議存在？

上述4個重點突顯出了另一個中心議題：進行決策究竟需要多高程度的可信度？有時某些發展中的處置場技術對於安全性有重大的影響，然而有一些則不然。這一點應該在安全性案例中做出釐清，如此才能夠有建設性地討論每一步驟的決策，究竟需要多高的可信度才足夠。

放射性廢棄物管理計畫所採用的逐層方式，以一種可以被廣大利益攸關的參與者所接納的態度，提供了闡述技術性與非技術性議題的可能性。以逐步發展的步驟來進行決策，提供了以下的好處：

- 使解決方案中，每一階段定案後的議題、步驟與預期都能夠被詳細地闡述。
- 使決策得以被評閱、修正，或是推翻。
- 安全性案例分析、處置場開發、與決策過程，得以逐步在開發者與檢閱人心中發展及堅定信心。
- 將每個階段的決策分割成爲數個小程序，讓社會大眾有機會在發展過程中形成意見。

在最後的安全性案例中，藉由由小而大地發展分析過程，對於建設可信度相當重要。安全性案例需要建基於辨明的技術基礎，並且透過和決策過程清晰的結合作爲支援，這包括了正在著手處理與在未來階段中將接踵而來的決策。

發展可信度論證

處置系統需要能夠說服民眾相信它的安全性。安全性案例乃爲支援處置場發展決策之用。這些可信度論證，均用以證明現存的資訊具有足夠的基礎來做出手邊的決定，同時說明按照建議所採取的行動是合適的。

論證爲處置系統安全性建立可信度之必需。選址、建造及發展用以處理放射性廢棄物的處置系統，應該要依循能在安全要求上自我滿足的原則，同時可靠到整個系統能夠自我維持完整性長達一定的時間以上。數個放射性廢棄物管理組織正在選址及設計建造深地層處置場，這些深地層處置場所使用的強力處置系統整合了以簡單爲特色的特點，而這些特點均有已知影響力的實務經驗。

藉由避免複雜的設計方式及現象，這些處置系統的工程表現及安全性均變得較容



易估算。

此外，許多廢棄物管理組織均有用以證明放射性廢棄物科技的方案。這些方案證明了處置系統的可行性。

深地層處置中最為重要的一個特色，便是以多重障壁系統作為處置場的設計基礎。假使其中一道障壁發生了缺陷，將不會明顯地危及整個系統的長期安全性。一般而言，這些障壁包含了一系列實體組成，分別用以圍包、隔離廢棄物，同時保護環境及人類活動圈不受到影響，並且防止或是延遲放射性核種的遷移，以及其他有害物質進入自然圈中。

典型的多重障壁包含了：

- 低溶解性的廢棄物型態（特別指玻璃固化的高放射性廢棄物）。
- 燃料護套（運用在用過核燃料上）。
- 具有良好材料結構，可以長期使用的金屬護箱。
- 控制擴散的緩衝材料。
- 具有良好化學性質的回填材料及處置場密封本體。
- 具有穩定地球化學及機械性質的低滲透性母岩。

並非全部的處置系統都使用了上述的所有障壁。有一些處置場的設計包括了工程障壁系統的過度設計，這主要是考慮了障壁表現的不確定性及提供額外的餘裕來符合法規，而另一些則多仰賴保持近場的良好化學環境條件，以及岩石圈的保護。

以下有3個步驟可以探驗多重障壁系統的強度是否足夠：

- 在給定的情境下評估障壁的效能。
- 探索障壁隨著時間流逝將會產生什麼變化，進而調查障壁的安全功能會如何地演變。
- 探索一或多個障壁失效時，將會產生什麼樣的後果。

數據的可信度

許多挑戰性發展出來的安全性案例，通常需要耗費數萬年的時間才能獲得驗證。這當中牽涉到了許多方面上，關鍵的深地層處置概念，例如放射性核種隨時間衰減的理論。然而，這當中對於歷經這種時間規模之後的現象表現及數據，卻存在有不確定性。考慮處置場材料的演化，視處置場材料長期時間演化下所造成的不確定性等等。因處置場材料演化的不確定性，依恃於材料特性有用知識的範圍。

某一些不確定性對於處置場系統安全所造成的影響，大大地勝過其他的因素。在早期階段辨識出這樣的敏感性並加以闡明，將是有益的。安全性案例的數據可信度根基於研究工作的確實進行，以及數據與正確瞭解。因此應有可追溯所有的數據與資料的清楚紀錄，此為相當根本的工作。並非所有數據的產生都會在處置場方案主辦之下。大部分的處置場設計原理乃建立於科學的瞭解與基本的關係，例如質量守恆與熱力學守恆。對於數據品質的可信度以及其說明，可以藉由用較寬闊的基礎而獲得加強。

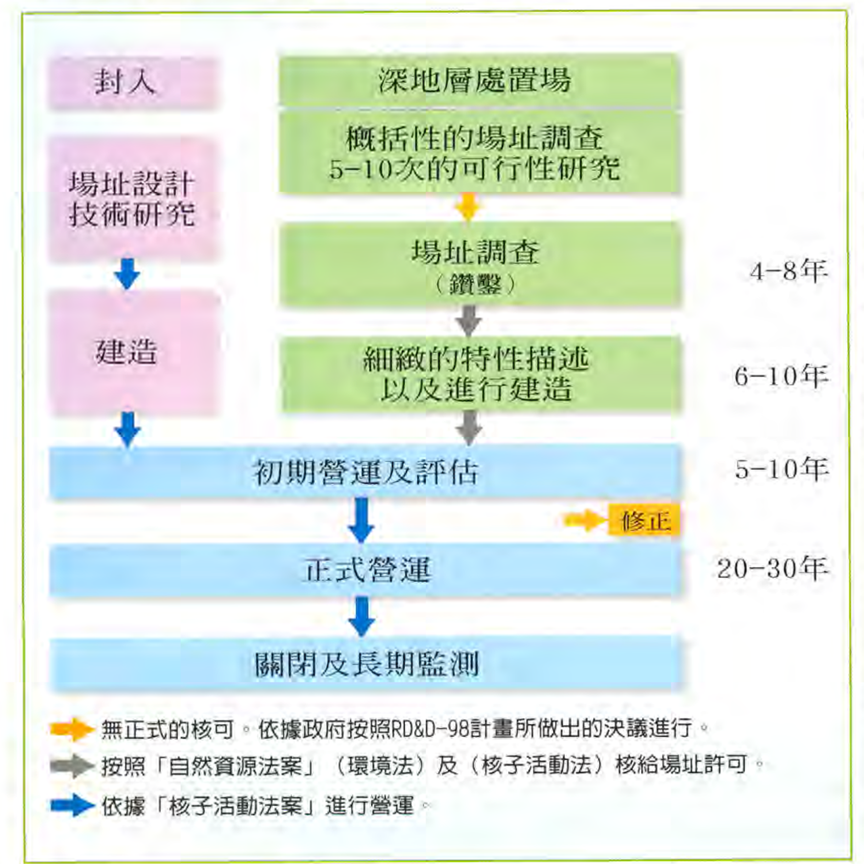
由於處置場專案的發展需要耗時相當長的時間，因此將這當中所有的重要決定及其基礎加以保存，便成為了一件相當重要的工作。

平台的可信度

安全性評估應當在一個可稽查的架構下進行，並且與一個清楚的且為利益攸關者所



瑞典用過核燃料處置場發展的逐步程序



接受的法規架構一致。所使用的評估方法論應當是系統化並且合乎邏輯，並且說明哪些特點、事件與程序(FEPs)已經被考慮進去，同時合理將其他FEPs排除在考慮之外。

處置場的開發是一步一步發展的。最原始的設計理論被轉換成為了工程提案。接著藉由地表的鑽探，及最後的地下探勘來進行場址的選擇、探測。評估方法應允許併入任何新數據或瞭解。第三號綜合功能評估報告的參與者採用了一種反覆不斷的疊代方式來進行綜合功能評估。在這個反覆疊代的架構下，證明每一個評估循環是如何建立於上一個評估循環是重要的。

安全性案例的可信度

以明確的態度來面對不確定性，被認為是建立安全性案例分析的可信度所不可或缺的一部分。使用機率性安全評估以處理數據的不確定性，提供對輸入參數不確定性的系統化處理。某些組織使用確定性的敏感度研究，有助於探索特定參數不確定性的影響。

根據FEP分析所進行的系統化情境模式選擇，就處置場系統演化的不確定性，是一種較佳的方式。這通常是基於一個參考的情境，以及一些範圍的不同情景以評估就處置場演化，在長期安全上的不確定性的影響。

多重安全指標

第三號報告書中的絕大部分均考慮了整體系統的演化，不單單是放射性核種的遷移，許多組織使用了選項的安全指標作為個體風險及劑量計算的配套。對於安全指標的例子，除了人類的劑量率及個體風險外，曾於不同的安全情況作評估，由參與第三號報告者產生或審閱，包括了：

- 將劑量率與天然背景輻射水平做一比較。
- 集體劑量計算。
- 計算通過不同障壁的放射性核種通量

率。

- 將放射性核種釋放出去的總量，與等體積下天然環境中所含有的放射性總量做比較。
- 給定一點中的放射性核種濃度與天然背景濃度的比較。
- 藉由與生物圈中因天然存在濃度與環境中所增加的濃度，來評估其所造成的毒性影響。
- 計算對生物圈的劑量率或生態風險，就現場特定非人類的生物圈所造成的風險。
- 計算各個障壁所能提供的隔離時間規模。
- 在特定核種的最終情形，描寫在工程障壁系統或是遷移途徑中衰變的位置。
- 計算放射性核種隨時間演變在處置場系統不同成分中的情形。
- 計算初始存量到達岩石圈與生物圈的分數。
- 考慮在不同障壁組成間，其放射性毒性在空間中分布的時間函數。
- 與國際原子能總署在1996年所建議的免除低放射性物質管制的清潔基準作比較。

（本文取材自Nuclear Engineering International, 8 — 2002）

障壁假定較預期效果為低的各種情境範例

障　壁	情　境
廢棄物母體	● 所有用過核燃料在封裝破損後即刻曝露。假設燃料護套失去作用。 ● 快速的燃料腐蝕。 ● 釋出放射性核種的分數立即地上昇。
金屬容器／護箱	● 初始缺陷。 ● 早期失效。 ● 大量失效。
緩衝	● 保守滯留值。 ● 無限溶解度。 ● 緩衝材料厚度減少。 ● 緩衝成爲流過物的混合槽。
密封	● 滲透率上升。
岩石圈	● 地下處置場座落在靠近斷裂帶，或遠離斷裂帶的情形。 ● 滲透率上升。 ● 短推移時間。 ● 很高流量。 ● 直接穿透（完全忽略岩石圈中的滯留）。 ● 處置場於3萬年後發生後冰川岩塊運動撞擊，致使金屬護箱破損、膨潤土移位、流動與遷移增強，同時造成整個近場和岩石圈氧化。 ● 由於侵蝕或大規模的人類入侵，而使得岩石圈的障壁功能完全喪失作用。



美國廢棄物處置僵局已化解

編輯室

明尼蘇達立法當局核准在大草原島設置更多乾式貯存空間

明尼蘇達立法當局已經核准愛克斯賽爾能源（Xcel Energy）公司的大草原島（Prairie Island）核能電廠增加乾式貯存空間，此法案避免該廠受限於1994立法核准的貯存空間不足，而提早於2007年前關閉。

這項立法同時指派明尼蘇達公共服務委員會爲大草原島和蒙提瑟洛（Monticello）二處增設乾式貯存場的督導單位，雖然州立法局可能不理會委員會的決定。

明尼蘇達州參議院在2003年5月以40對26票核准此法案，在此法案通過後隔日亦在眾議院以80對45票通過立法，州長提姆保藍緹（Tim Pawlenty）於5月29日簽署此法案。

這項法案核准充分的乾式貯存容積，讓位於大草原島2個反應爐能夠分別營運至2013年及2014年的執照期限爲止。大草原島核能電廠總計存放有12個乾式貯存桶，此外尚有1994年核准存放的17桶。核能管制委員會同意該廠存放48桶。

這法案受到大草原島電廠所在地紅翼選出的參議員史提夫莫非（Steve Murphy）支持、西明尼蘇達州艾波湖（Elbow Lake）選出的托瑞威斯綽米（Torrey Westromy）眾議員與蒙提瑟洛電廠所在地選出的馬克歐拉達（Mark Ourada）參議員也強烈支持此法案。

愛克斯賽爾能源公司州政府事務部門執行長史考特威廉斯基（Scott Wilensky）稱此法案爲「堅定的折衷法案」。因它同時需要愛克斯賽爾能源公司增加可再生能源發展基金，如風力和氫能發展。

大草原島印地安社區於5月14日發表支持大草原島增加額外貯存容積。該族酋長在數月前曾與愛克斯賽爾能源公司接洽有關增加貯存空間之後，投票支持一項財務協定。

德州低放射性廢棄物法案通過立法，並送至州政府保簽

德州立法當局上週通過立法，試圖尋求變更商業用低放射性廢棄物處置設施的設立廠址及營運有關健康與安全的法令。

這機構將貯存來自德州低放射性廢棄物處置協定會員中德州、緬因州、佛蒙特州的低放射性廢棄物。德州眾議院及參議院遞送一份最終版本給州長瑞克培利（Rick Perry），請其核准。

眾議院核准此法案最後修定版本，隨



後參議院在5月26日以24對7票通過。州長有20天可簽署或拒簽這項法案，若州長無法於截止日之前簽署，本法案將會自動地成爲該州法律。

NEI，這常年與電力單位合作並在德州有眾多支持者的公司，自1995年來歷經過無數立法及媒體公眾率先議題，強烈支持此協定仍維持效力。

該州法律同意2個私人低射性廢棄物處置設施必須在德州環境品質委員會核可的場址上成立。其中一個機構必須處置聯邦產生的低放射性廢棄物，此仍依據「1980年實施的低放射性廢棄物政策」和在「1985年根據特定條件修改條文的政策」而訂定的。

相鄰的設施必需提供協定下商業性會員的服務。這個法案維持健康及安全規範的規定，可以在德州協定下限制低放射性廢棄物在商業性處置設施作處置。

然而，這法律界定「協定廢棄物」包括主州或盟州產生的及「若不是在主州或盟州產生的廢棄物，但業經協定委員會核准進口的亦可」。

爲聯邦低放射性廢棄物的處置設施被允許高至6百萬立方碼廢棄物處理空間。這法案的參議院版本限制在聯邦處置設施中，特定等級廢棄物的處置要一同合併至最大5千立方碼。然而，在與眾議院協商下，法案最後的版本爲聯邦設施增加這些等級的廢棄物處理體積至60萬立方碼的限制。

管理當局發布3項有助於私人燃料貯存場財務的法規

聯邦管制單位上週發表3項密切相關有利的法則，其結論爲私人燃料貯存廠（PFS），在財務上是合格以建造一擬議31億美元位於西猶他州哥休提（Goshute）印度安保護區內斯庫爾（Skull）谷臨時貯存場的建造費用。

核管會原子安全發照局(ASLB)在5月27日拒絕猶他州政府的抱怨，係因合資成立PFS的財團可能面臨財務上的問題，這將導至限定責任的公司放棄此計畫。

PFS係由8個電力公司所組成的合作財團，擁有核能電廠及合資的財源，申請建照，建造及運作一個集中暫時貯存設施，用以貯存用過核子燃料，直至聯邦貯存場開始運作爲止。

原子安全發照局並未公開發布決定，乃因包含貯存場業務的機密資料，只有對猶他州政府與核管會人員以及PFS發表覆審答案。

「我們深信我們的設備將滿足臨時貯存場急切的工業需求」，PFS董事長約翰帕金（John Parkyn）如此說，「因此，我很確定年復一年只要貯存場存在的一天，我們將符合核管會的財務條件要求，並且在必要時會完全除役。」

核管會原子安全發照局的另一審查小組5月22日通過後，原子安全發照局作出一項決定，即貯存場可以防震並不會對地面上的設施引起重大事故。

核管會原子安全發照局尚未決定有關南猶他州曠野聯盟提出的問題鐵路運送貯存

設施服務措施的提議是否會對鄰近曠野造成負面衝擊。

聯邦管制單位同時在5月29日聽證，PFS在3月31日向核管會提出申訴，以審查另一於3月10日由原子安全發照局提出初步停止執照的審議，係由於潛在軍機可能在現場發生空難的考量。

在原子安全發照局討論軍機空難後果爭論之後，核管會表示其保有稍晚考慮PFS請求的權利。除此之外，原子安全發照局舉行聽證有關PFS考慮興建小廠的要求，核管會表示不能接受PFS以動議方式請求重新考慮，但PFS可能會提出更小廠的計畫作爲修正申請。

PFS表示，使用此設施的產業界將會付費；這些金錢將不會使用核能電廠發電的消費者電費中所提供的140億聯邦基金。

合作財團聲稱每次將用過核子燃料送去該設施的機構，將被要求存入一外在除役基金帳戶。此基金在未來該貯存場關閉時，復原所在地原始狀況才使用。

PFS在1997年與哥休提斯庫爾谷印地安特區共同簽署一份租約，聲明將在820英畝保護區上利用100英畝作爲貯存設施之用。在1997年6月，PFS向核管會提出申請。

（本文取材自Nuclear Energy Overview, June 2, 2003）

阿伐、貝他、加馬

翁寶山

拉塞福又譯爲盧瑟福（Ernest Rutherford, 1871-1937）於1899年在科學文獻上聲稱：「實驗的結果顯示，鈾的輻射是複合的，至少含有兩種不同的輻射：一爲容易被吸收，爲了方便起見將稱它爲阿伐（α），另一種具有較高的穿透力者將稱它爲貝他（β）」。

爲什麼選用前面兩個希臘字母作命名並無特殊的理由，拉塞福也不作解釋。侖琴（W. K. Roentgen, 1845-1923）創下先例命名X射線，採用了字母作爲輻射的命名。在拉塞福那一代都要讀希臘文，所以在1900年法國維拉德（P. Villard, 1860-1934）發現另一強穿的輻射時，拉塞福於1902年又用第三個希臘字母加馬（γ）命名。

不久湯姆生（J. J. Thomson, 1856-1940）用第四個希臘字母德爾他（δ）描述二次電子。

在今天的基本粒子世界，更是充滿了希臘字母作命名。

（本文作者為清華大學原子科學系退休教授，現為財團法人中華民國輻射防護協會董事長。）



在卡達赫希（Cadarache）燃料製造廠附近的胡塞古堡（Château Rousset）。
（法國COGEMA公司提供）